

Power semiconductor e.g. MOSFET or IGBT heat sink sandwich structure

Patent Number: ☐ DE19932953
Publication date: 2000-01-20
Inventor(s): MIGITAKA YUKINORI (JP); NAKASE YOSHIMI (JP); TESHIMA TAKANORI (JP)
Applicant(s):: DENSO CORP (JP)
Requested Patent: JP2000091485
Application Number: DE19991032953 19990714
Priority Number(s): JP19980199073 19980714; JP19990134809 19990514
IPC Classification: H01L23/36 ; H01L23/40 ; H01L23/473
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

The semiconductor device has a substrate structure (4) with a power semiconductor element (1) sandwiched between a pair of heat conductive plates (2,3). The plates fit into a channel (72) provided by a pair of cooperating heat sink elements (5,7). A clamping device (6,8) secures the substrate structure between the cooperating heat sink elements.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-91485
(P2000-91485A)

(43) 公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テラコード* (参考)
H 0 1 L	23/473	H 0 1 L 23/46	Z
	23/36	23/40	Z
	23/40	23/36	D

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平11-134809

(22) 出願日 平成11年5月14日 (1999.5.14)

(31) 優先権主張番号 特願平10-199073

(32) 優先日 平成10年7月14日 (1998.7.14)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 中瀬 好美

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 手嶋 孝紀

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 右高 幸紀

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(74) 代理人 100100022

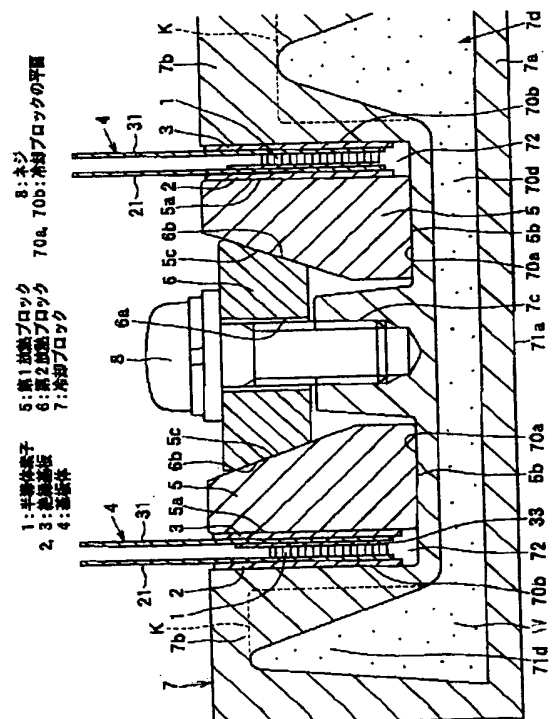
弁理士 伊藤 洋二 (外1名)

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体素子を備える半導体装置の素子放熱構成において、組付の容易化、構造の簡素化、装置の搭載性向上、半導体素子を搭載基板と放熱体との密着性向上を実現する。

【解決手段】 半導体素子1は一對の高熱伝導性の絶縁基板2、3の間に挟まれて基板体4を構成し、この基板体4は第1放熱ブロック5と冷却ブロック7との間の挿入部72にて圧接されている。圧接は、ネジ8を締め付けられた第2放熱ブロック6が、第1放熱ブロック5を冷却ブロック7の直交する平面70a及び70bに押圧することで行なわれる。絶縁基板2、3の外表面と両ブロック5、7、及び両ブロック5、7の接触界面には、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材9a及び該樹脂材9aに内包された熱伝導性の配合材9bからなる高熱伝導放熱材9が介在している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体素子(1)を熱伝導性を有する一対の絶縁基板(2、3)で挟んでなる基板体(4)と、前記基板体(4)における半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(5、7)とを備え、前記放熱体(5、7)には前記基板体(4)が挿入される凹部(72)が設けられ、

前記放熱体(5、7)に挿入され前記基板体(4)を前記放熱体(5、7)に固定する固定部材(6、8、14、20)を有し、

前記基板体(4)と前記固定部材(6、8)の挿入方向が同一方向となっていることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記放熱体(5、7)には前記凹部(72)が複数個設けられており、前記固定部材(6、8、20)は、各々の前記凹部(72)に挿入された前記基板体(4)の全てに対して同一方向から同時に押さえつけることの可能な一括押さえ部材(20)を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 前記放熱体は、内部に冷媒が流れる冷媒流路(7d)を備える冷却ブロック(7)と、この冷却ブロック(7)に接触する熱伝導性を有する放熱ブロック(5)とから構成され、

前記冷却ブロック(7)は、基台部(7a)とこの基台部(7a)から突出する突出部(7b)を有し、前記放熱ブロック(5)は、前記突出部(7b)と間隔を開けて対向する突出部対向面(5a)を有し、前記冷却ブロック(7)の前記突出部(7b)と前記放熱ブロック(5)の前記突出部対向面(5a)との間が、前記凹部(72)として構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体装置。

【請求項4】 前記固定部材(6、8、14、20)は、前記冷却ブロック(7)に挿入された際に、前記放熱ブロック(5)を前記挿入方向に押圧して前記冷却ブロック(7)に支持させる支持部材(8)と、前記支持部材(8)の挿入により、前記突出部対向面(5a)を前記突出部(7a)方向に押圧して前記基板体(4)を前記凹部(72)にて圧接する押圧部材(6、14)とから構成されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体装置。

【請求項5】 前記放熱体は、内部に冷媒が流れる冷媒流路(7d)を備える冷却ブロック(7)と、この冷却ブロック(7)に接触する熱伝導性を有する放熱ブロック(5)とから構成され、前記冷却ブロック(7)は、基台部(7a)と、この基台部(7a)から同一方向に突出する第1の突出部(7b)及び第2の突出部(7e)とを有し、前記冷却ブロック(7)における前記基台部(7a)と前記第1の突出部(7b)と前記第2の突出部(7e)とにより囲まれる空間が、前記凹部(72)として構成

されており、

前記基板体(4)は、前記凹部(72)内にて、前記基台部(7a)と前記放熱ブロック(5)との間に挟まれていることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体装置。

【請求項6】 前記固定部材(6、8)は、前記冷却ブロック(7)に挿入された際に、前記放熱ブロック

(5)を前記第1の突出部(7a)方向に押圧して前記冷却ブロック(7)に支持させる支持部材(8)と、前記支持部材(8)の挿入により、前記放熱ブロック

(5)を前記挿入方向に押圧して前記基板体(4)を前記凹部(72)にて圧接する押圧部材(6)とから構成されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置。

【請求項7】 前記押圧部材(6)は熱伝導性を有する部材であることを特徴とする請求項4または6に記載の半導体装置。

【請求項8】 半導体素子(1)を熱伝導性を有する一対の絶縁基板(2、3)で挟んでなる一対の基板体(4)と、

前記各基板体(4)における半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(5、7)と、前記各基板体(4)に接する共通の押圧部材(6)とを備え、

前記押圧部材(6)を前記放熱体(7)に支持することにより、前記各基板体(4)を押圧して前記放熱体

(5、7)に固定させるようにしたことを特徴とする半導体装置。

【請求項9】 半導体素子(1)及び該半導体素子(1)を搭載する絶縁基板(2、3)からなる複数個の基板体(4)と、前記各基板体(4)における半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(5、7)とを備える半導体装置であって、前記放熱体(7)内部には、前記複数個の半導体素子(1)を放熱させるための冷媒が流れる単一の冷媒流路(7d)が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項10】 前記冷媒流路(7d)は、前記複数個の基板体(4)全体に及ぶ主流路(70d)と前記各基板体(4)の片面近傍に延びる副流路(71d)とから構成されていることを特徴とする請求項9に記載の半導体装置。

【請求項11】 前記放熱体(5、7)は、前記冷媒流路(7d)が形成された冷却ブロック(7)と、前記各基板体(4)の他面に接触するとともに、前記各基板体(4)の他面と接触する部位以外の部位にて前記冷却ブロック(7)に接触する熱伝導性の放熱ブロック(5)とから構成されていることを特徴とする請求項10に記載の半導体装置。

【請求項12】 前記基板体(4)と前記放熱体(5、

7) とは、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材 (9 a) 及び該樹脂材 (9 a) に内包された熱伝導性の配合材 (9 b) からなる密着材 (9) を介して、接触していることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 13】 半導体素子 (1) と、この半導体素子 (1) と接触し前記半導体素子 (1) から発生する熱を放熱するための放熱体 (7) とを備える半導体装置であって、前記放熱体 (7) において前記半導体素子 (1) 搭載部位と反対側の部位 (71 a) は、平坦面となっていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 14】 半導体素子 (1) と、この半導体素子 (1) を搭載する絶縁基板 (2、3) と、この絶縁基板 (2、3) に接触配置され前記半導体素子 (1) から発生する熱を放熱するための放熱体 (5、7) とを備える半導体装置において、前記絶縁基板 (2、3) と前記放熱体 (5、7) との間には、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材 (9 a) 及び該樹脂材 (9 a) に内包された熱伝導性の配合材 (9 b) からなる密着材 (9) が介在されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 15】 前記樹脂材 (9 a) は、弾性率が 10 MPa 以下の熱硬化性樹脂であることを特徴とする請求項 12 または 14 に記載の半導体装置。

【請求項 16】 前記配合材 (9 b) は、Ag、Cu、Ni、Al、Sn、窒化アルミ、炭化珪素、窒化珪素、窒化ホウ素、シリコン、ダイヤモンド、炭素繊維、カーボンブラック、またはこれらの混合物からなることを特徴とする請求項 12、14 及び 15 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 17】 前記配合材 (9 b) は、大きさの異なる複数の粒子から構成されていることを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 16 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 18】 前記配合材 (9 b) は、複数の粒子が連結したものからなることを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 17 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 19】 前記配合材 (9 b) は、繊維または繊維を織った布もしくはメッシュであることを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 16 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 20】 前記配合材 (9 b) は、波形もしくは凹凸形状に変形させた箔からなることを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 16 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 21】 前記配合材 (9 b) は、柔軟性を有する芯材 (91 b) とこの芯材 (91 b) を覆う熱伝導性の放熱層 (92 b) との 2 層構造からなることを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 16 のいずれか 1 つに記載

載の半導体装置。

【請求項 22】 前記配合材 (9 b) は、その表面に外方に向かって突出する複数の突起を有することを特徴とする請求項 12 及び 14 ないし 16 のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

【請求項 23】 前記繊維を、放熱方向に合わせて配置させたことを特徴とする請求項 19 に記載の半導体装置。

【請求項 24】 前記繊維を少なくとも前記樹脂材 (9 a) の表面から突出させた状態で、前記密着材 (9) を前記絶縁基板 (2、3) と前記放熱体 (5、7) との間に介在させたことを特徴とする請求項 23 に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体素子を有する半導体装置に関するもので、特に、半導体素子の冷却構造に関し、例えばパワー MOSFET や IGBT 等の半導体素子を有する半導体装置に用いて好適である。

【0002】

【従来の技術】 パワー MOSFET や IGBT 等の半導体素子 (半導体チップ) は、大電流を制御する素子であるため、自己発熱が大きい。このため、上記半導体素子を冷却する手段として、半導体素子を放熱させるための放熱体として空冷式の放熱フィンや水冷式の冷却ブロック等を用いた色々な構成が提案されている (特開昭 62-92349 号公報、特開昭 63-96946 号公報、特開昭 62-141751 号公報、特開昭 61-265849 号公報、特開平 3-20065 号公報等)。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記従来構成においては、実用上、以下に述べるような種々の問題が生じる。例えば、放熱を大きくするためには放熱フィンが大型になったり、また、放熱効率を高めるべく水冷式の冷却体を用いる場合でも、冷媒である水の流路が必要であるため、この流路構成が複雑なものとなったり、それによる装置の複雑化及び体格の大型化が生じてしまうという問題が生じる。

【0004】 また、半導体素子に対して放熱体を組付ける場合においても、両者の配置関係によっては、組付に手間がかかる等、組付性の問題も生じる。また、半導体装置の搭載性についても、例えば電気自動車等のインバータに用いる場合、半導体装置は、車両エンジンルーム内の限られたスペースに搭載されるが、放熱体が組付けられることで、装置が複雑化または大型化することにより、搭載性に問題が生じる。

【0005】 更に、複数の半導体素子を備える半導体装置においては、一つの半導体素子毎に放熱体を組付けたり、放熱体との配置関係によっては各半導体素子の配置に制約が生じる等の問題も生じる。また、放熱体と半

導体素子とは、通常、半導体素子を搭載する絶縁基板を介して接触し、半導体素子から放熱体へ熱を逃がすように放熱経路を形成しており、放熱性を高めるために、両者の凹凸やうねり等による隙間を埋めて密着性を高めるべく、一般に、密着材として放熱性のグリースを両者間に介在させている。

【0006】しかし、本発明者等の検討によれば、放熱グリースにおいては、オイルを主成分としているため、素子の発熱（例えば150℃以上）により低粘度化されてオイルが漏れだし上記密着性が悪くなってしまったり、放熱性が十分ではない。そこで、本発明は上記種々の実用上の問題点に鑑みて、半導体素子を備える半導体装置の素子放熱構成において、新規な実用的構成を得ることを第1の目的とし、組付性の容易化を図ることを第2の目的とし、構造の簡素化を図ることを第3の目的とし、装置の搭載性向上を図ることを第4の目的とし、半導体素子を搭載する絶縁基板と放熱体との間の密着性を良好に維持することを第5の目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記種々の目的の少なくともいずれか1つを達成するため、鋭意検討を行い、以下の技術的手段を採用するに至った。即ち、請求項1記載の発明においては、半導体素子(1)を熱伝導性を有する一対の絶縁基板(2、3)で挟み込む基板体(4)と、基板体(4)の半導体素子(1)から発生する熱を放熱すると共に基板体(4)が挿入される凹部(72)を有する放熱体(5、7)と、放熱体(5、7)に挿入され基板体(4)を放熱体(5、7)に固定する固定部材(6、8、14、20)とを備え、基板体(4)と固定部材(6、8)の挿入方向を同一方向としたことを特徴としている。

【0008】それによって、半導体素子(1)、一対の絶縁基板(2、3)及び固定部材(6、8)の各部材が、放熱体(5、7)に対して一方から挿入可能となるから組付が容易とできる。さらに、本発明では、各部材が放熱体(5、7)に対して一方から挿入可能であるため、半導体素子(1)が複数個の場合でも、放熱体(5、7)の素子配置面に複数個の凹部(72)を自由に2次元的に配置でき、素子の配置自由度が高くなるという利点もある。

【0009】そして、複数個の凹部(72)を放熱体(5、7)に設けた場合、請求項2記載の発明のように、固定部材(6、8、20)を、各々の凹部(72)に挿入された基板体(4)の全てに対して同一方向から同時に押さえつけることの可能な一括押さえ部材(20)を有したものとすれば、複数個の基板体の各々に対して固定作業を行う必要がなく、組付が容易とできる。

【0010】また、請求項3記載の発明は、請求項1及び請求項2記載の半導体装置の具体的手段を提供するものである。即ち、放熱体は、内部に冷媒が流れる冷媒流

路(7d)を備える冷却ブロック(7)と、この冷却ブロック(7)に接触する熱伝導性を有する放熱ブロック(5)とから構成され、冷却ブロック(7)は、基台部(7a)と基台部(7a)から突出する突出部(7b)を有し、放熱ブロック(5)は、突出部(7b)と間隔を開けて対向する突出部対向面(5a)とを有しており、冷却ブロック(7)の突出部(7b)と放熱ブロック(5)の突出部対向面(5a)との間に、凹部(72)を構成したことを特徴としている。

【0011】それにより、固定部材(6、8、14)の挿入時に、基板体(4)を両ブロック(5、7)の間に圧接保持できるので、半導体素子(1)を両側から放熱することが可能となる。また、本発明では、別々の両ブロック(5、7)により凹部(72)を構成しており、固定部材(6、8、14)で押圧を行なう前では、基板体(4)は凹部(72)に挿入するだけで両ブロック(5、7)に挟まれて仮固定されるので、余分な組付治具が不要とでき、組付が容易とできる。

【0012】また、請求項4記載の発明は、請求項3における固定部材(6、8、14)の具体的手段を提供するもので、冷却ブロック(7)に挿入された際に放熱ブロック(5)を挿入方向に押圧して冷却ブロック(7)に支持させる支持部材(8)と、支持部材(8)の挿入により突出部対向面(5a)を突出部(7a)方向に押圧して基板体(4)を凹部(72)にて圧接する押圧部材(6、14)とから構成している。

【0013】また、請求項5記載の発明も、請求項1及び請求項2記載の半導体装置の具体的手段を提供するものである。即ち、放熱体を、請求項3と同様の冷却ブロック(7)及び放熱ブロック(5)より構成し、冷却ブロック(7)は、基台部(7a)と、この基台部(7a)から同一方向に突出する第1の突出部(7b)及び第2の突出部(7e)とを有するものとし、冷却ブロック(7)における基台部(7a)と第1の突出部(7b)と第2の突出部(7e)とにより囲まれる空間により、凹部(72)を構成し、基板体(4)を、凹部(72)内にて、基台部(7a)と放熱ブロック(5)との間に挟むようにしたことを特徴としている。

【0014】それにより、請求項3の発明と同様に、基板体(4)を両ブロック(5、7)の間に圧接保持できるので、半導体素子(1)を両側から放熱することが可能となる。また、請求項6記載の発明は、請求項5における固定部材(6、8)の具体的手段を提供するもので、冷却ブロック(7)に挿入された際に、放熱ブロック(5)を第1の突出部(7a)方向に押圧して冷却ブロック(7)に支持させる支持部材(8)と、支持部材(8)の挿入により、放熱ブロック(5)を挿入方向に押圧して基板体(4)を凹部(72)にて圧接する押圧部材(6)とから構成したことを特徴としている。

【0015】ここで、請求項7記載の発明のように、請

求項4及び請求項6記載の押圧部材(6)を熱伝導性を有する部材から構成すれば、より放熱性が向上する。また、請求項8記載の発明では、半導体素子(1)を熱伝導性を有する一対の絶縁基板(2、3)で挟んでなる一対の基板体(4)と、各基板体(4)における半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(5、7)と、各基板体(4)に接する共通の押圧部材(6)とを備え、押圧部材(6)を放熱体(7)に支持することにより、各基板体(4)を押圧して放熱体(5、7)に固定させるようにしたことを特徴としている。

【0016】それにより、1つの押圧部材(6)で一対の基板体(4)を固定できるから、組付工数が低減でき、組付が容易とできる。また、請求項9記載の発明では、半導体素子(1)及び該半導体素子(1)を搭載する絶縁基板(2、3)からなる複数の基板体(4)を備える半導体装置において、各半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(5、7)の内部に、複数の基板体(4)を冷却するための冷媒が流れる単一の冷媒流路(7d)を形成したことを特徴としており、例えば冷媒流路をつなぐ別体の接続部材(パイプ等)等を不要とでき、構造の簡単な水冷式の半導体装置を提供できる。

【0017】また、請求項10記載の発明では、請求項9記載の冷媒流路(7d)を、複数の基板体(4)全体に及ぶ主流路(70d)と各基板体(4)の片面近傍に延びる副流路(71d)とから構成したことを特徴としており、基板体(4)において、特に冷却したい面を副流路(71d)近傍に配置することで、放熱性を向上できる。

【0018】また、請求項11記載の発明では、請求項10記載の放熱体(7)を、冷媒流路(7d)が形成された冷却ブロック(7)と、各基板体(4)の他面と接触する部位以外の部位にて冷却ブロック(7)に接触する熱伝導性の放熱ブロック(5)とから構成したことを特徴としている。本発明は、各基板体(4)即ち各半導体素子(1)の両面から放熱させる構成であるが、基板体(4)の片面は、冷媒流路(7d)の副流路(71d)を流れる冷媒によって効率的に放熱され、他面は放熱ブロック(5)を介して冷却ブロック(7)に放熱できるから、冷媒流路(7d)を各基板体(4)の両面に回り込ませる必要がなく、簡単な流路構成とした水冷式の半導体装置を提供できる。

【0019】また、請求項12記載の発明では、請求項1ないし11記載の基板体(4)と放熱体(5、7)とは、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材(9a)及び該樹脂材(9a)に内包された熱伝導性の配合材(9b)からなる密着材(9)を介して、接触していることを特徴としている。本発明では、基板体(4)と放熱体(5、7)との接触界面、すなわち絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)との接触界面において、密着材(9)の介

在により、両接触体(2、3、5、7)の凹凸やうねり等による隙間を埋めることができ、また、熱応力による両接触体(2、3、5、7)との相対変位に追従して、接触界面の密着性を良好に維持することができ、より高いレベルで放熱性を確保できる。

【0020】また、請求項13記載の発明においては、半導体素子(1)と接触し半導体素子(1)から発生する熱を放熱するための放熱体(7)において、半導体素子(1)搭載部位と反対側の部位(71a)を、平坦面としたことを特徴としており、この平坦面部分を装置の取付面とすれば、搭載相手(例えば、モータの外周等)への搭載性が容易とできる。

【0021】ここで、請求項14ないし24記載の発明は、請求項12記載の密着材について、更に検討した結果に基づいてなされたものである。上述のように、放熱体と半導体素子とは、通常、半導体素子を搭載する絶縁基板を介して接触し、半導体素子から放熱体へ熱を逃がすように放熱経路を形成しているが、放熱性を高めるためには、放熱体と絶縁基板との密着性が重要である。ここにおいて、上述のように、密着材として放熱性のグリースを使用すると、素子の発熱により低粘度化されてオイルが漏れだし上記密着性が悪くなってしまう。

【0022】また、高熱伝導性を有する接合材としては導電性ペーストまたは導電性接着剤があるが、これは本来、電気導電性を確保するためのものである。これらは、一般にエポキシ樹脂に粒状のAgフィラを混合したものを用いている。本発明者等の検討によれば、導電性ペーストまたは導電性接着剤を密着材に用いた場合、樹脂が熱硬化して硬くなった形で介在しているため、素子の発熱によって熱応力がかかると相対変位によりクラックが引き起こされ、このクラックにより発生する隙間により放熱性が悪くなってしまうことがわかった。いずれにせよ、放熱体と絶縁基板との間に介在して両者の密着性を良好に維持できる密着材はなく、本発明者等は、密着材について鋭意検討を行なった。

【0023】即ち、請求項14記載の発明においては、半導体素子(1)を搭載する絶縁基板(2、3)に接触配置された放熱体(5、7)を備える半導体装置において、絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)との間に、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材(9a)及び該樹脂材(9a)に内包された熱伝導性の配合材(9b)からなる密着材(9)が介在されていることを特徴としている。

【0024】それによって、絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)との接触界面において、密着材(9)の介在により、請求項12記載の発明と同様の作用効果を奏する。ここで、本発明者らの検討によれば、樹脂材(9a)は、請求項15記載の発明のように、弾性率が10MPa以下、好ましくは0.1MPa以下の熱硬化性樹脂であることが好ましく、配合材(9b)は、請求

項16記載の物質を用いることが好ましい。

【0025】また、請求項17記載の発明では、配合材(9b)を、大きさの異なる複数の粒子から構成しているから、樹脂材(9a)へ効率よく充填させることができ、放熱性を向上できる。また、請求項18記載の発明のように、配合材(9b)を、複数の粒子が連結したものとしても、樹脂材(9a)への充填を効率の良いものにできる。

【0026】また、請求項19ないし請求項22記載の発明は、それぞれ、配合材(9b)の具体的手段を提供するものである。また、請求項23記載の発明は、配合材(9b)を、繊維または繊維を織った布もしくはメッシュとした請求項19記載の配合材(9b)において、繊維を放熱方向に合わせて配置させたことを特徴としている。それによって、繊維の両端が、絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)とに接し、この繊維方向に放熱経路が確保される。

【0027】更に、請求項24記載の発明によれば、請求項23記載の発明において、繊維を少なくとも樹脂材(9a)の表面から突出させた状態で、密着材(9)を絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)との間に介在させるようにしているから、絶縁基板(2、3)と放熱体(5、7)とに接する繊維の両端において、接触が取りやすくなる。

【0028】なお、上記した括弧内の符号は、後述する実施形態記載の具体的手段との対応関係を示す一例である。

【0029】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)本実施形態は、本発明の半導体装置を、半導体素子としてのIGBT(絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)を水冷式の放熱体で冷却するIGBTモジュールであって、ハイブリッド車等におけるバッテリーとモータの間で直流-交流変換を行なうインバータに適用している。

【0030】図1は本実施形態に係る半導体装置(IGBTモジュール)100の概略全体構成を示す一部を透視(図1にて透視部分は一点鎖線で示す)した斜視図、図2は図1のA矢視図、図3は図2のB-B断面図、図4は図3を部分拡大した断面図である。半導体装置100の概略を述べると、図1～図4に示す様に、半導体装置100は、一対の高熱伝導性の絶縁基板2、3の間に1個あるいは複数個の半導体素子1を挟んで基板体4を構成した後、放熱ブロック5及び6によって、冷却ブロック7に圧接してなる。圧接は、ネジ8を締め付けることにより行われる。ここで、図3に示す様に、基板体4は複数個(図示例では6個)直列に配置されている。

【0031】次に、各部の詳細について述べる。ここで、図5(a)、(b)に、基板体4の詳細構成を示す。図5において、(a)は半導体素子1及び絶縁基板2(図4中、左側)を示し、(b)は絶縁基板3(図4

中、右側)を示す。半導体素子1は、本例では平板状のIGBTチップ1a及びFWD(フライホイールダイオード)チップ1bからなる。ここで、両チップ1aは、直流-交流変換を行なうインバータにおける主要素子を構成している。

【0032】絶縁基板2、3は、高熱伝導性基板(本例では長方形、熱伝導率は例えば、約170W/mK)であり、半導体素子1である各チップ1a、1bの両面を挟んでいる。各基板2、3は例えば窒化アルミニウム等からなる。まず、絶縁基板2の半導体素子1を挟む側の面、即ち内面2aには、図5(a)に示す様に、電極パターン21が配設されている。この電極パターン21は、銅やアルミニウム等の板材(例えば厚みが0.5mm程度の板材)から構成されており、面2aに例えば融着により直接取り付けられている。この場合、融着に代えて、ろう付けにより取り付けのように構成しても良い。

【0033】ここで、電極パターン21の形状について説明する。電極パターン21は、図5(a)に示す様に、長方形の基板部21aと、この基板部21aの図5(a)右上端部に上方に向けて突設されて絶縁基板2からはみ出した外部配線接続用の端子部21bとから構成されている。これら両部21a、21bは一体形成されている。

【0034】電極パターン21の基板部21aには、IGBTチップ1a及びFWDチップ1bがろう付け(例えば半田付け)されている。この場合、IGBTチップ1aのコレクタ電極(図示せず)が基板部21aにろう材(例えば半田材)を介して接合されている。同様にしてFWDチップ1bの裏面側電極(図示せず)が基板部21aにろう材(例えば半田材)を介して接合されている。

【0035】次に、絶縁基板3の半導体チップを挟む側の面、即ち内面3aには、図5(b)に示す様に、電極パターン31、32が配設されている。電極パターン31、32は、銅やアルミニウム等の板材(例えば厚みが0.5mm程度の板材)から構成されており、面3aに例えば融着により直接取り付けられている。この場合融着に代えて、ろう付けにより取り付けにより取り付けのように構成しても良い。

【0036】ここで、まず、電極パターン31の形状について説明する。電極パターン31は、図5(b)に示す様に、長方形の基板部31aと、この基板部31aの図5(b)左上端部に上方に向けて突設されて絶縁基板3からはみ出した外部配線接続用の端子部31bとから構成されている。これら両部31a、31bは一体形成されている。

【0037】そして、基板部31bには、長方形をなす接合部33及び34が外方(図5(b)にて紙面上方)にむけて突設されている。この場合、接合部33の

大きさは、IGBTチップ1aのエミッタ電極11aとほぼ等しいか、または若干小さく設定されていると共に、突き出し高さ寸法は例えば0.5mm程度に設定されている。また、接合部34の大きさは、FWDチップ1bの表面側電極11bとほぼ等しいか、または若干小さく設定されていると共に、突き出し高さ寸法は例えば0.5mm程度に設定されている。

【0038】一方、電極パターン32には、外方(図5(b)にて紙面上方)にむけてほぼ正形状をなす接合部35が突設されている。この場合、接合部35の大きさは、IGBTチップ1aのゲート電極12aとほぼ等しいかまたは若干小さく設定されていると共に、突き出し高さ寸法は例えば0.5mm程度に設定されている。これら接合部33、34、35は、モリブデンやタングステン等で構成されており、それぞれ電極パターン31、32の上面に例えばろう付けにより直接取り付けられている。

【0039】そして、これら接合部33、34、35の上面に、ろう材(例えば、はんだ材)を印刷等により取り付け、半導体素子1及び2枚の絶縁基板2、3を重ね合わせると、IGBTチップ1aのエミッタ電極11a及びゲート電極12a、FWDチップ1bの表面電極11bが、それぞれ、絶縁基板3の接合部32、33、34にろう付けされて当接する。

【0040】続いて、上記各当接部分を加熱炉等を用いて加熱することによりリフローを行う。これにより、上記各当接部分がろう付け(はんだ付け)されて接合される。こうして、基板体4が形成される。なお、電極パターン21、31は、その端部に設けられた貫通穴21c、31cに棒状の電極を通してボルト等で締結固定することにより、両パターン21、31のうち、一方をバッテリーに他方をモータに接続する。また、電極パターン32は、ワイヤボンディング等により、外部制御回路等に接続する。

【0041】次に、各ブロック5、6、7半導体装置100の放熱構造にかかる部分について述べる。まず、図4に示す様に、第1放熱ブロック5は、その断面が、ほぼ直角を成す2つの平面5a、5bと斜面5cを持つ長方形の一部が切り取られた形状をなす。また、第2放熱ブロック6は断面が台形状をしており、ネジ8が通る穴6aが形成されている。これら放熱ブロック5、6は、アルミニウム等の金属等の熱伝導性に優れた材料で切削加工やダイカスト加工等により形成される。

【0042】冷却ブロック7は、複数の基板体4即ち半導体素子1の配列方向に延びる基台部7aと、この基台部7aの平面70aから突出し該平面70aとほぼ直角を成す平面70bを有する突出部7bとから構成されている。また、冷却ブロック7内部には、冷媒W(例えば水等)が通る冷媒流路7dが半導体素子1の配列方向に延びるように形成されている。

【0043】冷媒流路7dは、半導体素子1の配列方向に延びる主流路70dと、主流路70dから各突出部7b内に延びる副流路71dとから構成された単一の冷媒流路である。この冷媒流路7dは、図示しない冷媒Wの出入り口を有し、車両の冷却水タンク等と配管されて、例えば、半導体素子1の配列方向に水が流れるようになっている。

【0044】また、基台部7aには、ネジ8が係合されるネジ穴7cが形成されている。また、基台部7aの平面70aと反対側の面71aは平坦面であり、この面71aを取付面として、車両エンジンルーム内の適所(例えば、モータの上)に、半導体装置100が取り付けられる。例えば、図示しないが、基台部7aに装置取付用のネジが取り付けられる取付穴を設け、車両側の上記適所に設けられた被取付部に対して、ネジ結合することにより取付可能である。

【0045】この冷却ブロック7も、アルミニウム等の金属等の熱伝導性に優れた材料で切削加工やダイカスト加工等により形成される。なお、副流路71dの形状は、図4中の破線Kにて示す様に、基板体4側の肉厚が主流路70dと同程度となるように形成してもよく、それによって、より冷却効率が向上する。

【0046】そして、第1放熱ブロック5の平面(突出部対向面)5aと、冷却ブロック7の突出部7bの平面70bとは、間隔を開けて対向配置され、この隙間は基板体4が挿入されている凹部(挿入部)72として構成されている。また、図4に示す様に、第1放熱ブロック5、及び冷却ブロック7の突出部7bは、ネジ8及び第2放熱ブロック6を中心として左右両側に対称に、対として設けられている。なお、本例では、基板体4は左右両側で同一配置としているが、例えば、右側の基板体4において、絶縁基板2、3の配置を図4とは反対としてもよい。

【0047】本例では、図4中のネジ8から左側部分においては、第1放熱ブロック5は、平面5aにて絶縁基板3の外表面と接触し、平面(基台部接触面)5bにて冷却ブロック7の基台部7aの平面70aと接触し、斜面5cにて第2放熱ブロック6の台形斜面6bと接触している。また、冷却ブロック7は、突出部7bの平面70bにて絶縁基板2の外表面と接触している。

【0048】一方、図4中のネジ8から右側部分においては、基板体4は左側部分と同一配置であるため、第1放熱ブロック5は、平面5aにて絶縁基板2の外表面と接触し、平面5bにて冷却ブロック7の基台部7aの平面70aと接触し、斜面5cにて第2放熱ブロック6の台形斜面6bと接触している。また、冷却ブロック7は、突出部7bの平面70bにて絶縁基板3の外表面と接触している。

【0049】ここで、上記第1放熱ブロック5及び冷却ブロック7と絶縁基板2、3との接触界面、及び、第1

放熱ブロック5と冷却ブロック7との接触界面において、各面は、上記図1～図4では図示していないが、高熱伝導放熱材9を介して接触している。この高熱伝導放熱材9は、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材及び該樹脂材に内包された熱伝導性の配合材からなる密着材で、各接触界面において、接触部材同士の密着性及び熱伝導性を確保して放熱性を高めるものである。

【0050】詳しくは、図6に示す様に、高熱伝導放熱材9は、樹脂材9aの中に上記配合材としての高熱伝導率を有する配合材（フィラ）9bを、熱伝導性を高めるために高濃度（50vol%以上）に配合したものである。樹脂材9aは、絶縁基板2、3と放熱ブロック5及び冷却ブロック7との間を、隙間なく埋めることが出来る低粘度で、熱による流出及び剥がれのない熱硬化型の超低弾性率材料（熱硬化型超低弾性率材）が用いられる。

【0051】ここで、本例では、熱硬化型超低弾性率材は、硬化後においても低粘度（例えば、2.5～5Pa）で弾性率が10MPa以下、好ましくは0.1MPa以下の熱硬化性樹脂であり、そのようなものとしてシリコーンゲル（例えば、80～160Pa）を用いている。一方、配合材9bは、金属（例えば、銀とか銅）で平均粒径が5～50μm好ましくは20～50μmの大粒径球状粒子（大径フィラ）Aと、粒子Aに対して粒径比0.4ないし0.2、配合比1ないし13の小粒径球状粒子（小径フィラ）Bとの粒径の異なる粒子を混合したものをを用いている。

【0052】そして、樹脂材9aであるシリコーンゲルに配合材9bを配合した高熱伝導放熱材9は、熱硬化前は液体状態であるため、上記各接触面において少なくとも一方の面に塗布した後、互いの面を接触させた状態（つまり組付けた状態）で熱硬化させることで、両面を良好に密着する。こうして、樹脂材9aにより上記各接触界面を隙間無く埋めるとともに、配合材9bにより熱伝導が行なわれるため、上記各接触界面の放熱性が良好にできる。

【0053】そして、冷却ブロック7に締結されたネジ8により、第2放熱ブロック6を介して第1放熱ブロック5の斜面5cが押圧されている。それによって、第1放熱ブロック5において、平面5aは、冷却ブロック7の突出部7bの平面70b方向に、絶縁基板3の外面を押圧し、平面5aと略直交する平面5bは、冷却ブロック7の基台部7aの平面70aに押圧されている。よって、基板体4は、各絶縁基板2、3の両外面を各ブロック5、7によって押圧され、凹部72内部にて圧接固定されている。

【0054】ここで、上述の様に、基板体4、第1放熱ブロック5、及び冷却ブロック7の突出部7bは、ネジ8及び第2放熱ブロック6を中心として左右両側に対称に、対として設けられている。そして、1つの第2放熱

ブロック6が、共通の押圧部材として、左右一對の第1放熱ブロック5を介して、それぞれ左右一對の基板体4に接し、押圧を行なっている。

【0055】かかる構成を有する半導体装置100は、以下のようにして組付けられる。まず、放熱ブロック5の平面5b及び冷却ブロック7の基台部7の平面70aの少なくとも一方に、液状の高熱伝導放熱材9を塗布する。また、上述した手順にて形成された基板体4の各絶縁基板2、3の外面及び凹部72の両平面5a、70bの少なくとも一方に、液状の高熱伝導放熱材9を塗布する。

【0056】そして、放熱ブロック5を、冷却ブロック7の基台部7の平面70aに置く。ここで、凹部72において、両平面5a、70bの間を、基板体4の厚み以上の間隔で開けておく。そして、基板体4を図4にて上方から凹部72に挿入し、両ブロック5、7間に仮固定する。続いて、第2放熱ブロック6を、穴6aとネジ穴7cとが対応するように、冷却ブロック7に置く。

【0057】次に、ネジ8を、図4にて第2放熱ブロック6の上方から、両穴6a、7cに挿入し締結する。このとき、ネジ8を挿入していくと、両放熱ブロック5、6の斜面5c、6bの形状作用により、第2放熱ブロック6は第1放熱ブロック5の斜面5cに沿って挿入方向に滑る。そのため、左右一對の第1放熱ブロック5が押し広げられ各基板体4を押圧し、各基板体4が凹部72内部にて各ブロック5、7に圧接固定される。こうして、半導体装置100が完成する。

【0058】なお、図3及び図4に示す例では、電極パターン21、31における貫通穴21c、31c側の端部が、同一方向（図中の上方）に取り出されているが、この取り出し方向は限定されるものではなく、例えば、全て図3及び図4中の紙面垂直方向に取り出したものとしても良いし、個々の基板体4毎に異なった方向へ取り出したものとしても良い。

【0059】次に、本実施形態の放熱作用について、図4中のネジ8から左側部分を例にとって述べる。IGBTチップ1a及びFWDチップ1bで発生する熱は、IGBTチップ1a及びFWDチップ1bの裏面（絶縁基板2側）から絶縁基板2、そして、絶縁基板2外面から高熱伝導放熱材9を経て冷却ブロック7の突出部7b、そして冷媒Wへと、順次、スムーズに伝導され、速やかに放熱される。

【0060】同時に、IGBTチップ1a及びFWDチップ1bの表面（絶縁基板3側）からも絶縁基板3、そして、絶縁基板3外面から高熱伝導放熱材9を経て第1放熱ブロック5へ、次に、第1放熱ブロック5の平面5bから高熱伝導放熱材9を経て冷却ブロック7の基台部7a、更に冷媒Wへとスムーズに伝導され、速やかに放熱される。このように、半導体素子1両側から放熱がなされる。

【0061】ところで、本実施形態によれば、基板体4に直接接触して放熱させる第1放熱ブロック5及び冷却ブロック7を1つの放熱体とした場合、基板体4を固定する第2放熱ブロック6及びネジ8は固定部材に相当する。ここにおいて、基板体4と固定部材であるネジ8とが、放熱体5、7に対して同一方向から挿入可能となっているため、組付が容易とできる。

【0062】ここで、ネジ8は、冷却ブロック7に挿入された際に第1放熱ブロック5を挿入方向に押圧して冷却ブロック7に支持させる支持部材であり、第2放熱ブロック6は、ネジ8の挿入により突出部対向面5aを突出部7b方向に押圧して基板体4を凹部72にて圧接する押圧部材である。なお、支持部材としては、締結部材であるネジ8に限定されない。また、押圧部材である第2放熱ブロック6は、より放熱性を向上させるべく、熱伝導性を有する部材から構成されているが、熱伝導性を有する部材でなくともよい。

【0063】さらに、本実施形態では、各部材が放熱体5、7に対して一方向から挿入可能であるため、基板体4即ち半導体素子1が複数個の場合でも、放熱体5、7の素子配置面70aに複数個の凹部72を自由に2次元的に配置でき、素子の配置自由度が高くなる。例えば、図4において各ブロック5、6、7を紙面垂直方向に延ばし、基板体4を紙面垂直方向に複数個配列させることも可能である。

【0064】また、本実施形態によれば、固定部材6、8で押圧を行なう前では、基板体4は凹部72に挿入するだけで両ブロック5、7に挟まれて仮固定されるので、余分な組付治具が不要とでき、組付が容易とできる。また、本実施形態によれば、1つの共通な押圧部材すなわち第2放熱ブロック6で一对の基板体4を固定できるから、全体としては6つの基板体4を3つの第2放熱ブロック6及びネジ8で組付できる。よって、組付工数が低減でき、組付が容易とできる。

【0065】また、本実施形態によれば、冷却ブロック7の内部に、複数個の基板体4を冷却するための冷媒が流れる単一の冷媒流路7dを形成しているから、各基板体4毎に別々の冷媒流路を形成したり、冷媒流路をつなぐ別体の接続部材(パイプ等)等が不要とでき、構造の簡単な小型化した水冷式の半導体装置を提供できる。また、本実施形態によれば、冷媒流路7dを、複数個の基板体4全体に及ぶ主流路70dと各基板体4の片面近傍に延びる副流路71dとから構成している。本実施形態では、半導体素子1において、特に片面の方が他面よりも際立って発熱が大きいことはないが、発熱が片面に偏るような半導体素子を用いた場合、その面側の近傍に副流路71dを配置することができ、効率的な放熱が可能となる。

【0066】また、本実施形態によれば、基板体4の片面は、冷媒流路7dの副流路71dを流れる冷媒Wによ

って効率的に放熱され、他面は放熱ブロック5を介して冷却ブロック7に放熱できるから、冷媒流路7dを各半導体素子1の両面に回り込ませるような流路構成に比べて、簡単な流路構成とした水冷式の半導体装置を提供できる。

【0067】また、本実施形態によれば、半導体素子1を、その両面に熱伝導性を有する一对の絶縁基板2、3によって挟んで基板体4を構成し、一对の絶縁基板2、3をそれぞれ各ブロック5、7に接触させるようにしており、半導体素子1の絶縁性が良好に確保できる。また、本実施形態によれば、冷却ブロック7の半導体素子1搭載部位である平面70aと反対側の面71aを平坦面とし、この面71aを装置の取付面としているから、搭載が容易とできる。

【0068】また、本実施形態では、IGBTチップ1a及びFWDチップ1bの各電極と絶縁基板2、3の電極パターン21、31、32とをろう付けにより接合したので接合(接続)部分の面積が大きくなる。これにより、電気抵抗及び熱抵抗を小さくすることができ、大電流を流すことが可能になる。ところで、上記例では密着材として高熱伝導放熱材9を用いたが、この高熱伝導放熱材9について、以下、より詳しく述べる。

【0069】従来、半導体装置において、半導体素子を搭載する絶縁基板と放熱部材との2つの基材をはりつけ、放熱させる構造においては、放熱性のグリースが用いられてきた。これは、シリコンオイルに、アルミナや窒化ホウ素など絶縁性で熱伝導率が高い充填材を配合したものである。例えば、アルミナは熱伝導率:約20~30W/mK程度、窒化ホウ素(六方)は約40W/mK程度である。また、これらを配合したグリース自体の熱伝導率は約0.8W/mK程度である。

【0070】上記2つの基材間の放熱性を良好に保つためには、なるべく、空気などの隙間を入れず、かつ貼り合わせる面の間隔を薄くすることが必要である。なぜなら、空気の熱伝導率は約0.03W/mKと低いためである。また、2つの基材間の熱抵抗(熱の伝わり難さ)は2つの基材間に挟まれた物質の熱伝導率に反比例し、その厚さに比例するからである。

【0071】一般に、基材の表面には数~数十 μ の凹凸やうねりが存在する。従って、単に、基材同士の面を貼り付けただけでは、この凹凸やうねりにより基材間に数十 μ の隙間が発生することになる。従来の放熱性グリースは、2つの基材間に塗りこんで、この凹凸やうねりを柔軟に埋め、2つの基材間に隙間が発生することを低減する効果をもつ。また、グリースを塗布しても、2つの基材間の間隔がなるべく厚くならないようにすることが重要である。

【0072】このような観点から、従来の放熱性グリースは、凹凸やうねりを埋め込むのに十分な低い粘度を保つ必要がある。一般に、放熱性を高めるには、高熱伝導

性のフィラの配合量を増加させる必要があるが、これは同時に粘度の上昇も引き起し、凹凸が埋め込めなくなったり、塗布厚みが厚くなるという問題がある。これを解決するには、放熱グリースのベースとなるオイルの粘度を下げる手法が考えられるが、粘度の低いオイルは、製品が高温に晒される場合は、高温時にさらに粘度が低下し、オイル成分が流れだすという不具合を引き起こす。特に、極めて高い発熱をするパワーデバイスでは、製品の動作時の温度が高く、ベースオイルの低粘度化により高放熱化が行えない。

【0073】なお、放熱性グリースはオイルをベースとしているため、接着力が低い。2つの基材の固定は、別途ネジ締めや、あるいは、本実施形態のような、大きなブロック材で挟み込むなどの機械的固定が必要である。一方、従来、高熱伝導な接合材として導電性ペーストまたは導電性接着剤がある。これは本来、電気導電性を確保するために使われる材料である。一般的には熱硬化できるエポキシ樹脂に粒状のAgフィラを配合する。Agは、導電性が良好であるとともに、熱伝導率も高い。Agの熱伝導率は約400W/mKと高く、これを配合した導電性ペーストは熱伝導率が約2~3W/mK程度であり、放熱グリースより高い。

【0074】さらに、Agの含有率を増加させれば、熱伝導性は向上するが、放熱性グリースと同じように粘度の上昇が起こる。また、一般に導電性を確保するには、Agフィラ同士を接触させる必要がある。熱硬化させることで比較的固くなるエポキシ樹脂（弾性率が数GPa程度）でAgフィラ同士を拘束することで、この接触力を保つ。

【0075】Agフィラの含有率を増加させていくと、相対的にエポキシ樹脂の割合が低下し、この接触力が低下するため、導電性が低下していくことがわかっていく。また、同様に、接着力も低下する。このため、従来の導電性ペーストでは、Agの含有率を90wt%程度を上限としている。さらに、放熱性グリースがオイルをベースとしているため、2つの基材間で、熱応力による相対変位が加わった時に、これに柔軟に追従できるのに対し、熱硬化した固くなった導電性ペーストでは、この相対変位によりクラックを引き起し、このクラックにより発生する隙間により放熱性が低下するという問題点がある。

【0076】本発明者等は、上記のような高発熱のデバイスにおける2つの基材間を貼り合わせるための材料に関する検討に基づき、このような材料においては、高放熱性と柔軟性を併せ持ち、かつ耐熱性が要求されると考えた。しかし、このような要求に対し、従来の放熱性グリースや導電性ペーストはいずれも十分なレベルにない。

【0077】そして、さらに、検討を進めた結果、上記高熱伝導放熱材9のように、耐熱性かつ柔軟性を有する

樹脂材9a及び該樹脂材9aに内包された熱伝導性の配合材9bからなる密着材を用いれば、各接触界面において、基材同士の密着性及び熱伝導性を確保して放熱性を高めることができることを見いだした。ここで、耐熱性かつ柔軟性を有する樹脂材9aとしては、例えば、弾性率0.1MPa以下の熱硬化性樹脂が好ましい。そのようなものとしては、上記シリコーンゲルの他に、シリコーン系樹脂やポリエステル系樹脂、あるいは耐熱性ゴム等がある。

【0078】以下、これら樹脂材9aに種々の配合材9bを配合した種々の手段を、図7ないし図9に示す。なお、これら各図中、a1及びa2は、貼り合わされる2つの基材であり、上記例においては、絶縁基板2、3、各ブロック5、6、7に相当する。まず、第1の手段は、上記図6に示した高熱伝導放熱材9と同様のもの、熱硬化しても低い弾性率を保つシリコーンゲル（硬化後の弾性率0.1MPa以下）等の樹脂材9aに、配合材9bとして高放熱性のフィラを混合した高熱伝導放熱材9である（図7(a)）。

【0079】ここで、樹脂材9aは、熱硬化により全体が3次元架橋しているため、製品が高い温度（例えば150℃以上）に晒されても、従来の上記放熱性グリースのように流れだすことがない。また、弾性率が低いため、2つの基材a1及びa2間の相対変位に柔軟に追従することができ、従来の上記導電性ペーストのようにクラックが発生することがない。

【0080】特に、上記例では、デバイスの絶縁性は、別途絶縁基板2、3で確保する構造のため、従来の放熱性グリースのような絶縁性フィラは特に必要なく、より熱伝導率の高い金属系フィラ（Ag、Cuなど）などを用いることができる。本発明者等の検討によれば、熱硬化前の粘度が約0.3Paのシリコーン樹脂（樹脂材）に、平均粒径6μmの球状Cuフィラ（配合材）を93wt%配合した場合、熱伝導率1.3W/mKを達成できる。

【0081】また、本第1の手段においては、図7(a)に示す様に、さらに、フィラを高充填するため、大径フィラAの隙間に小径フィラBを詰め込んでいくことで、粘度上昇を抑えながら高充填化できることがわかった。例えば、上述した様に、平均粒径が5~50μm好ましくは20~50μmの大径球状粒子（大径フィラ）Aと、粒子Aに対し、粒径比0.4ないし0.2、配合比1:1ないし1:13の小径球状粒子（小径フィラ）Bを混合する。

【0082】ここで、これらフィラA、Bの充填率は次のようにして推定することができる。すなわち、フィラ単体を定量容器で計り取り、その重量を秤量する。フィラ材質の真比重を用いてフィラ体積に換算する。定量容器全体の体積に占めるフィラの体積を計算する。この測定方法で、0.2cm³/cm³以上あることが望

ましい。

【0083】ここで、配合材としての金属は、1種類でも2種類以上を組み合わせてもよい。金属としては、Ag、Cuの他、Ni、Al、Snなどを用いることができる。また、金属以外であっても高熱伝導なフィラを用いることができる。例えば窒化アルミ、炭化珪素、窒化珪素、窒化ホウ素などのセラミック系フィラや、シリコンやダイヤモンドなどの単結晶フィラ、更に、炭素繊維、カーボンブラックなどのグラファイト系フィラを用いることができる。

【0084】また、配合材の粒子の形状としては、球状のみでなく、扁平状なども用いることができる。扁平状フィラは、2つの基材の間に配向することで、より放熱性を高める効果がある。ところで、さらに、フィラを高充填化していくと、フィラ同士がお互いに接触しあうようになる。この接触による摩擦が、高熱伝導放熱材9全体の粘度上昇という現象となって現れ、ある一定以上は、フィラ配合量（配合材の配合量）を増加することができなくなる。

【0085】そこで、第2の手段は、第1の手段に加え、塗布する段階において樹脂材に、粘度を低く保つための溶剤を混合し、一方の基材にこれを塗布後、溶剤を揮発・樹脂硬化を行い、その上に、他方の基材を圧着させる手段である。溶剤としては、塗布作業中での揮発しにくく、かつ温度を下げることで容易に揮発する溶剤が選ばれる。本発明者等の検討によれば、特に沸点が125℃以上の溶剤、例えば、ピチルカルビトール、ナフサなどが適する。この溶剤を添加することで、Agフィラの含有率を99wt%程度まで高めることが可能である。

【0086】図7(b)左側に示す様に、塗布し、溶剤を揮発させ、樹脂を硬化させた状態では、第1の手段の場合と異なり、配合材（フィラ）9bの回りを樹脂が完全に覆っているという状態になく、配合材9b間に隙間が存在する。このままでは、熱伝導性が低下するが、図7(b)右側に示す様に、これを2つの基材で押さえつけることで、この隙間を埋めるように樹脂が変形し、配合材9b同士が接触しあうことで、高い放熱性を得ることができる。

【0087】もちろんこのためには、樹脂材9aを構成する樹脂が、上記第1の手段に示したような押さえつけの力で十分に變形できるほど柔らかいものでなければならない。なお、本第2の手段においても、樹脂材9aは熱硬化されているので、高温に晒されても配合材9bや樹脂材9aそのものが流れだすことはない。

【0088】第3の手段は、樹脂に混合する前から、配合材9b同士の接触を持たせたものである。上記第1及び第2の手段では、配合材（フィラ）9bは粒状であり、樹脂に多量に混合することで、接触を保つようにしているが、本第3の手段では、混合する前からある程

度、配合材9bを構成するフィラ同士を連結させる。このような連結フィラの一例をAgフィラを例にとりて説明する。

【0089】Agの球状フィラ（粒子）は、溶液中で結晶成長させることで、製造される。この成長中に、Agフィラ同士に凝集力が働くように溶液を調整することで、ある程度成長したAgフィラ同士が凝集し、この状態で成長が進む。結果として、複数の球状のAgフィラが連結した形となる（図8(a)参照）。このようなフィラの例としては、徳力化学研究所のE-20などが例示される。本発明者等の検討によれば、このAg連結フィラを用いた場合、フィラ含有率が79wt%程度と低くても熱伝導率が2.0W/mKまで達成できる。

【0090】また、本第3の手段の他の例として、金属ワイヤを用い、これを布状に織った、金属のメッシュを配合材9bとして用いる。これを2つの基材a1及びa2間に置き、樹脂を塗布して接合することもできる。金属ワイヤを予め織ることで、ワイヤ同士が接触する。さらにワイヤは基材a1及びa2の面とも接触し、高い導電性を示す（図8(b)）。

【0091】金属ワイヤの間の隙間は、樹脂材9aを充填されて埋められている。さらに、この隙間を上記第1および第2の手段で示した高放熱性フィラを配合した樹脂で埋めると効果が高い。さらに、金属メッシュと、連結フィラを組み合わせることで配合材9bとして使用すると、より放熱効果は高い。

【0092】本発明者等の検討によれば、直径約100μmのCuワイヤで織った金属メッシュ（100メッシュ、厚み約200μm）に、上記Ag連結フィラを配合したシリコン樹脂を塗布した構造で、熱伝導率8W/mKが達成できることを確認した。なお、メッシュの材質としては、金属繊維のみならず、放熱性の高い炭素繊維などを用いることができる。

【0093】第4の手段は、樹脂材9aに配合された配合材9bを、2つの基材a1及びa2に確実に直接接合させるようにした構成としたものである。つまり、配合材9bを高放熱性の介在物として2つの基材a1及びa2間を直接連結させるようにする。本第4の手段の場合も、各基材a1及びa2のうねりや凹凸に柔軟に対応できるように、介在させる配合材（介在物）9bの材質は柔軟性を持たせる工夫がなされている。その介在物の具体例を以下の第1ないし第4の例に示す。

【0094】まず、第1の例は、柔軟性を持つ繊維である。繊維はその直径が細ければ、繊維自体が曲がることにより柔軟性を持つことができる。このような繊維を、2つの基材の間にその繊維の両端が接するように配置する。実際には、繊維単体では、そのような構造にすることが困難のため、まず、樹脂材9aとして例えば柔軟性のある柔らかいゴムを用い、このゴムの中に繊維の方向を揃えて埋め込む。これを適当な厚さに切り出す。これ

を2つの基材間に挟む(図8(c)参照)。なお、樹脂材9aとしては、ゴム以外にもシリコーンゲル、シリコーン系樹脂、ポリエステル系樹脂等が用いられる。

【0095】繊維もこれを支えるゴムも柔軟性があるため、基材a1及びa2の凹凸に沿って変形し、繊維の両端が基材a1及びa2に接するようになる。この繊維方向に放熱経路が確保され、良好な放熱ができるようになる。繊維の材質としては、ガラス繊維、釣り糸などのナイロン系樹脂、金属(Cu、Ni、Au、Ag等)、炭素繊維などを用いることができる。この場合、金属、炭素繊維は熱伝導性が良好な材料なので、高い放熱効果が得られる。

【0096】さらに、図8(d)に示す様に、ゴム部分を表面から酸やアルカリ等の液によるエッチング等により除去し、基材a1及びa2との接触部分に、繊維のみが存在する(図8(d)にて、符号90b部分)箇所が大きくなるようにすれば、さらに柔軟性が増加し、基材a1及びa2との接触が取りやすくなる。また、繊維自体の柔軟性が高くなっても樹脂材9aの部分が、基材a1及びa2に挟み込まれた状態で、一旦熔融するようにすれば、繊維が凹凸やうねりに合わせ変形したり、移動することが可能となる。

【0097】例えば、室温で固体である熱硬化性樹脂でこの構造体を製造しておき、基材で挟んだ状態で加熱する。加熱により樹脂は熔融し、この時、繊維が基材に沿って変形・移動する。その後、熱硬化し、固化することで、繊維が固定される。あるいは、熱可塑性樹脂を用い、組み付け時に加熱し、一旦熔融させ、そのまま冷却することで固化させてもよい。

【0098】次に、第2の例は、基材のうねりや凹凸でできる隙間よりも大きな径を持つ柔軟性の芯材91bの表面に熱伝導性の高い放熱層92bを設けた配合材9bである。例えば、柔軟性を持つポリエステル(芯材)の表面に、金属をめっきして放熱層にする。このようなものを、2つの基材a1及びa2で挟み込むことで、芯材91bが変形し、その表面の放熱層92bが2つの基材a1及びa2に直接接合する(図9(a)参照)。

【0099】なお、2つの基材a1及びa2の間の隙間より小さな径の配合材9bであっても、これを織ったりすることで集結させ、柔軟性を保ちながら、厚みを増す方法をとってもよい。このような配合材(介在物)の事例としては、日清紡(株)の「デンジークロス」(芯材:ポリエステル、放熱層:ニッケルの繊維を布状に織ったもの)や鐘紡(株)のテキストグラス(芯材:グラスファイバー、放熱層:ニッケル)などが例示される。また、球状の樹脂ビーズの表面に、金属めっきを施したものでもよい。

【0100】次に、第3の例は、金属不織布を配合材9bとしたものである。金属不織布とは、短い金属繊維を寄せ集め、圧縮して、お互いを焼結させることで、布状

にしたり、あるいは長い金属繊維をランダムに絡ませ、圧縮して布状にした材質である。細かい繊維が重なり合っているため柔軟性があり、基材の凹凸に合わせ、変形できる(図9(b)参照)。なお、金属ではなく、炭素繊維による不織布を用いてもよい。

【0101】さらに、第4の例は、部分的に、柔軟な部分を持つ金属フィラを配合材9bとしたものである。例えば、Ni粒子の表面に、突起が多数突き出たフィラが利用できる。これを基材a1及びa2で挟むと、突起の部分は、細いため剛性が弱く、これが基材に沿って変形することで、直接接合する(図9(c)参照)。また、波形に変形させた金属箔や、凹凸を持った金属箔を配合材9bに用いた場合でも、同様に、2つの基材a1及びa2で挟んだ場合、波形や凹凸部分が、基材に沿って変形する(図9(d)参照)。

【0102】なお、これら第1~第4の例に示した介在物としての配合材9bは、1つだけでも、2以上を組み合わせて用いてもよい。さらには、可能であるならば、上記第1~第4の手段に示した各高熱伝導放熱材9を適宜組み合わせ用いてもよい。また、高熱伝導放熱材9における各手段の適用は、上記例に示した基板体4を両側から放熱させる半導体装置に限定されるものではない。例えば、半導体素子の一面を絶縁基板を介して放熱部材(例えば、上記冷却ブロックや従来の放熱フィン等)に接触させた半導体装置、即ち、半導体素子の片側のみを放熱させる半導体装置に適用しても有効である。

【0103】(第2実施形態)図10に本発明の第2実施形態に係る半導体装置100を示す。なお、基板体4は、上記第1実施形態と同一であるが、図10中、絶縁基板2、3からはみ出した電極パターン21、31は省略してある。また、図10中、上記第1実施形態と同一部分は同一符号を付し、以下、主として異なる部分について述べる。

【0104】図10に示す様に、本実施形態では、冷却ブロック7において、基台部7aの平面70aから同一方向に突出する同一形状の2つの突出部7bを形成しており、これら2つの突出部7bの間で、1つの基板体4を圧接固定する構造である。各突出部7bは、上記第1実施形態同様に、平面70aとほぼ直角を成す平面70bを有するが、基台部7aに行くに連れ太くなっており、この平面70bと反対側は斜面73を構成している。そして、各突出部7bは内部に副流路71bを有する。

【0105】また、本実施形態では、第1放熱ブロック5の形状が上記第1実施形態とは異なる。図10に示す様に、本実施形態の第1放熱ブロック5は、その平面(突出部対向面)5aと冷却ブロック7の一侧(図10にて左側)突出部7bの間に凹部72を構成することは同一である。しかし、冷却ブロック7との接触が基台7aではなく、他側(図10にて右側)突出部7bの斜面

73にて行われている。そのため、第1放熱ブロック5において、他側突出部7bの斜面73と接する突出部接触面(平面5aと反対側の面)53は、他側突出部7bの斜面73と対応した斜面形状を構成している。

【0106】また、本実施形態では、上記第1実施形態に示す第2放熱ブロック6の代わりに、ゴムやバネ材等からなる弾性部材14が押圧部材として用いられている。また、ネジ穴7cは他側突出部7bに形成されている。弾性部材14は、一端側をネジ8によって他側突出部7bに固定され片持ち状態となる。そして、ネジ8の挿入に伴い、自由な他端側にて、第1放熱ブロック5の上面を押圧する。すると、第1放熱ブロック5において、突出部接触面53は、他側突出部7bの斜面73に押圧されるが、第1放熱ブロック5は、斜面73に沿って図10の下方に滑る。そのため、平面5aは、一側突出部7bの平面70b方向に、絶縁基板3の外面を押圧し、基板体4は、各絶縁基板2、3の両外面を押圧され、凹部72内部に圧接固定される。

【0107】また、絶縁基板2、3と各ブロック5、7との接触界面、及び、両ブロック5、7の接触界面は、上記同様の高熱伝導放熱材9が介在しており、接触部材同士の密着性及び熱伝導性を確保して放熱性を高めている。そして、本実施形態においても、上記第1実施形態同様に、基板体4とネジ8とが同一の挿入方向となっており、組付の容易化及び素子の配置自由度向上が図れる。また、第1放熱ブロック5による基板体4の仮固定も可能である。また、単一の冷媒流路7dによる構造の簡単化及び小型化も図れる。

【0108】(第3実施形態)図11に本発明の第3実施形態に係る半導体装置100を示す。なお、基板体4は、上記第1及び第2実施形態と同一であるが、上記図10同様に、図11中、電極パターン21、31は省略してある。また、図11中、上記第1実施形態と同一部分は同一符号を付し、以下、主として異なる部分について述べる。

【0109】本実施形態の第1放熱ブロック5は、図11に示す様に、上記第1実施形態の第1放熱ブロック5において斜面5cの無い断面長方形としたものである。そして、本実施形態でも、上記第2放熱ブロック6の代わりに、ゴムやバネ材等からなる弾性部材14が押圧部材として用いられている。ここで、押圧部材14は、第1放熱ブロック5を図11にて上方から下方へ押さえ付ける第1押圧部材14aと、第1放熱ブロック5を図11にて右方から左方へ押さえ付ける湾曲形状の第2押圧部材14bとからなる。

【0110】本実施形態においても、図11にてネジ8の右側に、左側と同様の構成を対称に設ければ、上記第1実施形態と同様の効果が得られる。

(第4実施形態)図12に本発明の第4実施形態に係る半導体装置100の概略断面構成を示す。本実施形態の

半導体装置100は、上記図4に示した半導体装置と同様に、一对の絶縁基板2、3の間に半導体素子1を挟んで基板体4を構成した後、この基板体4を放熱ブロック5及び6によって、冷却ブロック7に圧接してなる。圧接は、ネジ8を締め付けることにより行われる。

【0111】ここで、上記図4に示した第1実施形態の半導体装置では、基板体4が縦置きタイプであるのに対して、本実施形態では基板体4を横置きタイプとしたところが主たる相違点である。よって、基板体4における電極パターン21、31の貫通穴21c、31c側端部の取り出し方向は、図中の紙面垂直方向に取り出したものとしている。以下、主として、図4と異なるところについて述べ、同一部分は図12中、同一符号を付して説明を簡略化する。

【0112】本実施形態においては、冷却ブロック7は、基台部7aと、この基台部7aから突出する突出部7bより構成されているが、ここで、内部に冷媒流路7dの副流路71dが形成された突出部7bを第1の突出部7bとする。また、基台部7aから第1の突出部7bと同一方向に突出するとともに、ネジ8に係合されるネジ穴7cが形成された突出部7eを第2の突出部7eとする。

【0113】そして、冷却ブロック7における基台部7aと第1の突出部7bと第2の突出部7eとにより囲まれる空間が、基板体4が挿入される凹部72として構成されている。本実施形態では、基板体4は、この凹部72に対して、冷却ブロック7の基台部7aの平面70aの上方(図12中の上方)から挿入され、絶縁基板2の外面が冷却ブロック7の平面70aに接触して配置されている。

【0114】また、本実施形態では、第1放熱ブロック5において、冷却ブロック7の突出部7bの平面70bに対向する平面5aは、冷却ブロック7の平面70bに接触しており、一方、冷却ブロック7の基台部7aの平面70aに対向する平面5bは、絶縁基板3の外面と接触している。この第1放熱ブロック5は、凹部72に基板体4を挿入、配置した後、第1放熱ブロック5の平面5bと冷却ブロック7の平面70aとの間に基板体4を挟むように、凹部72に挿入される。

【0115】そして、上記第1実施形態と同様に、固定部材としての第2放熱ブロック(押圧部材)6及びネジ(支持部材)8によって、第1放熱ブロック5の斜面5cを押圧する。すると、第2放熱ブロック6によって、第1放熱ブロック5は、冷却ブロック7の第1の突出部7a方向に押圧され、第1の突出部7aに接触して支持される。同時に、ネジ8によって、第1放熱ブロック5は、固定部材6、8の挿入方向に押圧され基板体4を凹部72にて圧接する。

【0116】ここで、本実施形態においても、図示していないが、第1放熱ブロック5及び冷却ブロック7と絶

縁基板2、3との接触界面、及び、第1放熱ブロック5と冷却ブロック7との接触界面において、各面は高熱伝導放熱材9を介して接触している。そして、放熱作用について述べると、基板体4にて発生した熱は、絶縁基板2の外面から冷却ブロック7の基台部7aへ伝わると同時に、絶縁基板3の外面から第1放熱ブロック5、冷却ブロック7の突出部7bへ伝わり、冷媒Wへ放熱される。このように、半導体素子1の両側から放熱が成される。

【0117】かかる図12に示す半導体装置100においては、基板体4の凹部72への挿入時における両ブロック5、7による仮固定の効果を除いては、上記第1実施形態で述べたのと同様の作用効果を奏する。なお、本実施形態においても、図12中の破線K'にて示す様に、基板体4側の肉厚が主流路70dと同程度となるように副流路71dの形状を設定すれば、上記第1実施形態と同様な効果が期待できる。

【0118】(第5実施形態)ところで、上記第1実施形態において、放熱体5、7に複数の凹部72を設けることを述べたが、本実施形態は、そのような複数の基板体4を配置可能とした半導体装置において、固定部材に改良を加えたものである。本実施形態の半導体装置100の概略断面構成を図13に示す。

【0119】図示例では、放熱体5、7に6個の凹部72を設け、各凹部72に基板体4を挿入したものである。ここで、固定部材は、第1放熱ブロック5を介して基板体4を凹部72に圧接するための第2放熱ブロック(押圧部材)6と、この第2放熱ブロック6を介して全ての基板体4を同一方向から同時に押さえつけることのできるプレート(一括押さえ部材)20と、このプレート20を放熱体5、7に固定するためのネジ8(支持部材)とを有している。

【0120】プレート20は、板状本体の一面から同一方向に突出する棒状の突起部20a、20bを有する。また、各第2放熱ブロック6のうち少なくとも1つ(図示例では3個のうちの中央の1個)には、上記ネジ8を挿入するための上記穴6aが形成されるとともに、その上面に窪んだガイド部6dが形成され、また、穴6aの無いものの上面には窪んだガイド部6cが形成されている。冷却ブロック7には、穴6aに対応した部分に上記ネジ穴7cが形成されている。

【0121】そして、プレート20は、図13に示す様に、プレート20に形成された貫通穴にネジ8を挿入し、真ん中の第2放熱ブロック6の穴6aを通して冷却ブロック7にネジ結合されている。このとき、プレート20の突起部20aは、その先端部が左右の第2放熱ブロック6のガイド部6cにはめ込まれて固定され、また、突起部20bは、その先端部が中央のガイド部6dにはめ込まれて固定され、これら第2放熱ブロック6を、ネジ8の挿入方向に押圧する。

【0122】ネジ8のネジ結合により、3個の第2放熱ブロック6はネジ8の挿入方向に押圧されるため、各第2放熱ブロック6は、第1放熱ブロック5を介して、両側の一对の基板体4を凹部72に圧接させることができる。このように、本実施形態によれば、複数の基板体4の各々に対して1個のネジ8により放熱体5、7への固定がなされるため、固定作業が容易とできる。

【0123】なお、基板体4を2次元状に配置する場合にも、配置面積に応じた面積を有し且つ個々の第2放熱ブロック6に対して押さえ用の突起部20a、20bを有するプレート20を採用すればよい。この場合も、上記図13の構成に基づけば、少なくとも1個の第2放熱ブロック6は、直接、ネジ8を利用して押圧することになるが、別途、冷却ブロック7にネジ穴を設け、すべての第2放熱ブロック6を突起部20aにて押圧するようにしても良い。

【0124】また、プレート20は、ネジ8により放熱体5、7に固定するものでなくともよく、例えば、放熱体5、7における冷却ブロック7の外周部にて、プレート20と冷却ブロック7とをクリップ等にて固定するようにしても良い。以上述べてきたように、上記各実施形態において、基板体4は、片面を冷却ブロック7へ、他面を第1放熱ブロック5を介して冷却ブロック7へと、それぞれ接触させ、効率的に放熱できる。また、これら各接触面は、固定部材6、8、14により押圧されているため、より接触がしっかりしたものとなっている。さらに、基板体4と各ブロック5、7との接触面に高熱伝導放熱材9を介在させて、密着性を確保し、より高いレベルで放熱が確保されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る半導体装置の全体構成を示す斜視図である。

【図2】図1のA矢視図である。

【図3】図2のB-B断面図である。

【図4】図3の部分拡大図である。

【図5】上記図1ないし図4に示す基板体の詳細構成を示す図である。

【図6】本発明に係る密着材の構成を示す説明図である。

【図7】本発明に係る密着材の種々の手段を示す図であり、(a)は第1の手段、(b)は第2の手段を示す。

【図8】上記密着材の種々の手段を示す図であり、(a)及び(b)は第3の手段、(c)及び(d)は第4の手段の各例を示す。

【図9】上記密着材の種々の手段を示す図であり、(a)乃至(d)は第4の手段の各例を示す。

【図10】本発明の第2実施形態に係る半導体装置を示す図である。

【図11】本発明の第3実施形態に係る半導体装置を示す図である。

【図12】本発明の第4実施形態に係る半導体装置の概略断面構成を示す図である。

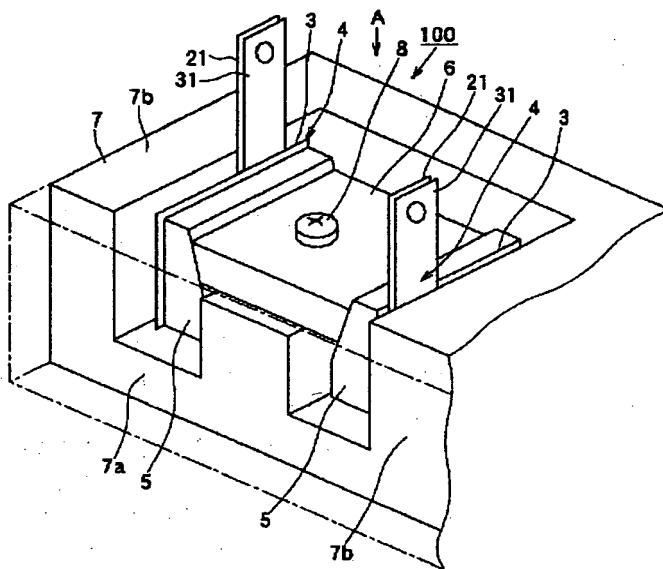
【図13】本発明の第5実施形態に係る半導体装置の概略断面構成を示す図である。

【符号の説明】

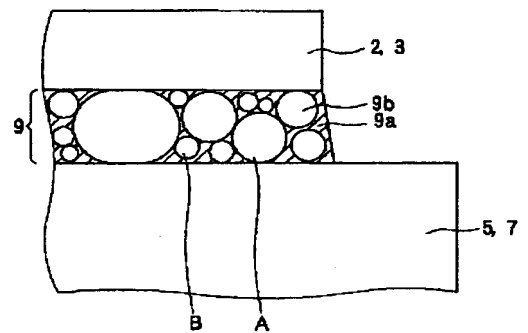
1…半導体素子、2、3…絶縁基板、4…基板体、5…第1放熱ブロック、5a…第1放熱ブロックの突出部対向面、6…第2放熱ブロック、7…冷却ブロック、7a

…冷却ブロックの基台部、7b…冷却ブロックの突出部（第1の突出部）、71a…冷却ブロックの装置取付面、7d…冷媒流路、70d…冷媒流路の主流路、71d…冷媒流路の副流路、7e…冷却ブロックの第2の突出部、8…ネジ、9…高熱伝導放熱材、9a…樹脂材、9b…配合材、14…弾性部材、20…プレート、72…凹部、91b…芯材、92b…放熱層。

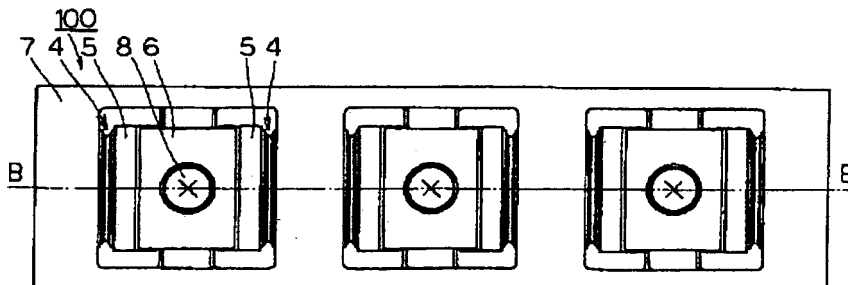
【図1】



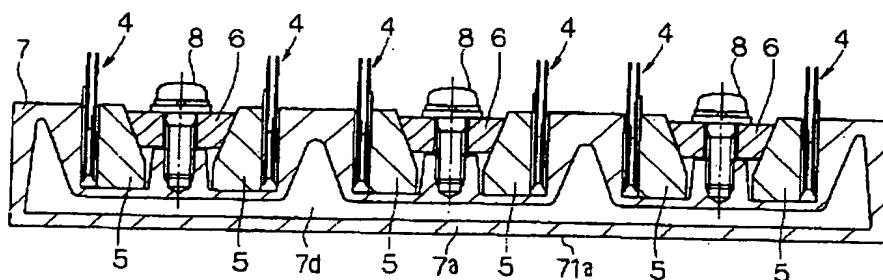
【図6】



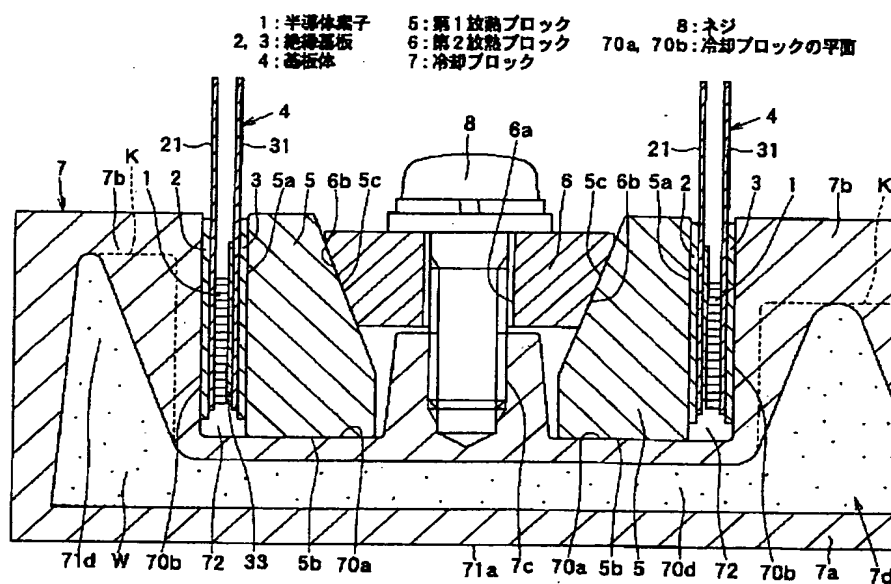
【図2】



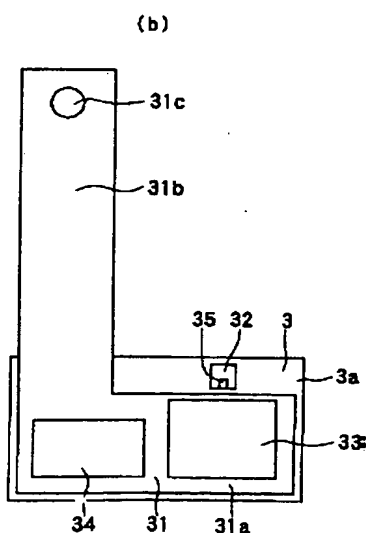
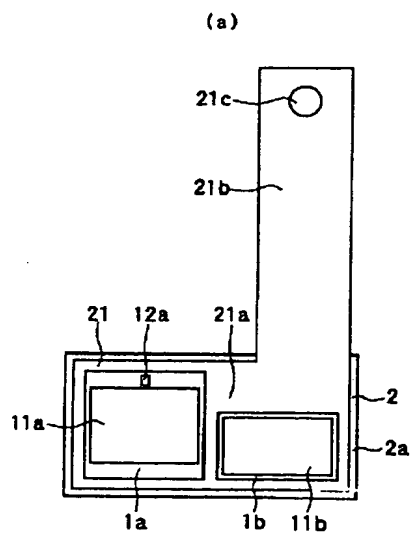
【図3】



【図4】



【図5】



【図10】

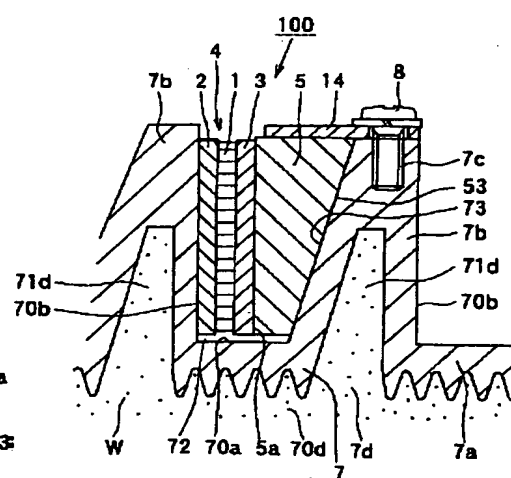


Figure 1 consists of three schematic diagrams illustrating a resin-impregnated fiber bundle. Diagram (a) shows a cross-section of a bundle with fibers 9, resin 9a, and a matrix 9b. Labels a1, a2, and B are also present. Diagram (b) shows a cross-section of a bundle with fibers 9b and resin 9a. An arrow points from (b) to a third diagram showing a cross-section of a bundle with fibers 9, resin 9a, and a matrix 9b, with labels a1, a2, and 9.

[illegible]

【図12】

